

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів, які навчаються
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Інтелектуальні системи управління: Розрахункова робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярощук. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,82 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 38 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №10 від 20.06. 2019 р.)
за поданням Вченої ради Інженерно-хімічного факультету (протокол №5 від 03.06. 2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

Укладач: *Ярощук Людмила Дем'янівна*, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний редактор: *Жученко А. І.*, завідувач кафедри «Автоматизація хімічних виробництв», доктор технічних наук, професор

Рецензент: *Івіцький Ігор Ігорович*, к.т.н., доцент кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування інженерно-хімічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

Запропонований навчальний посібник містить матеріал для виконання розрахункової роботи з методів штучного інтелекту, які можуть бути ефективно використані при проектуванні систем автоматизації достатньо складних хіміко-технологічних виробництв. Завданням на розрахункову роботу передбачено дослідження технологічної системи з метою створення бази знань для експертної системи діагностувального та прогнозувального типів. Запропоновано застосування формального підходу для отримання знань, який забезпечує ефективну роботу з експертами предметної області за рахунок уніфікації способу їх опитування та оформлення отриманих знань. Передбачено побудову графу аварійних ситуацій та його аналіз. Другою частиною роботи є створення та аналіз нечіткої системи керування за допомогою двох математичних процесорів: *MahtCAD* і *MatLab*.

Призначений для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм навчання.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	4
Мета та завдання розрахункової роботи, вимоги до оформлення.....	5
ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ	7
Склад, обсяг і структура розрахункової роботи.....	8
ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ, ПОЯСНЕННЯ ТА ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ.....	10
Порядок захисту та контрольні запитання.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ....	37

ВСТУП

Задачі, які не можуть бути розв'язані виключно математичними методами без урахування знань фахівців, набутих ними в результаті тривалої роботи, а також їхньої інтуїції, належать до сфери інтелектуальних. Системи керування, які здатні реалізувати такі задачі, називають системами штучного інтелекту (ШІ). Системи ШІ можуть бути складовою частиною систем керування складними технологічними системами. До сучасних систем ШІ належать експертні та нечіткі системи, нейронні мережі, а також їхні комбінації.

Метою вивчення кредитного модуля «Інтелектуальні системи управління» однойменної дисципліни є формування у студентів компетентностей щодо проектування та використання автоматичних систем керування (АСК), побудованих на математичних методах штучного інтелекту (ШІ).

Розрахункова робота надає можливість студентам отримати уміння у створенні комп'ютерних систем керування технологічними процесами, які використовують моделі та алгоритми штучного інтелекту.

Мета та завдання розрахункових робіт, вимоги до оформлення

Однією з важливих складових систем ІІ є база знань (БЗ). Її формування потребує навичок роботи з експертами та знання методів формалізації їхніх знань. Розрахункова робота охоплює два розділи дисципліни: експертні методи та системи, а також нечіткі множини і нечіткі системи керування.

Метою виконання розрахункової роботи є закріплення знань та набуття умінь для створення систем управління ІІ декількох типів для певної хіміко-технологічної системи, а також набуття знань та досвіду у використанні спеціалізованих математичних процесорів *MathCAD* і *MatLab* в дослідницьких роботах відповідного напрямку.

Основні задачі розрахункової роботи передбачають виконання наступних завдань:

- формування бази знань інтелектуальних систем при автоматизації хіміко-технологічних об'єктів;
- використання цих знань в експертних системах діагностувального та прогнозувального типів;
- розробка нечітких систем керування.

Опис технології не повинен перевищувати 4 сторінки. Нечітку систему керування треба реалізувати засобами *MathCAD* і *MatLab* та порівняти отримані результати.

Виконання розрахункової роботи передбачає проведення досліджень передусім з тими технологічними об'єктами, які студент розглядав у бакалаврському дипломному проєкті чи вибрав для магістерської дисертації. В цьому разі студент досконало знає технологічні особливості об'єкта, що дозволяє йому виступати у ролі справжнього експерта.

При оформленні роботи студентам треба керуватися наступним:

- властивості сторінки: папір А4, поля: ліве – 2,5 см, інші – 2;
- параметри форматування тексту: *Times New Roman*, 14 пт, 1,5 інтервали;
- нумерація сторінок наскрізна, знизу посередині, починаючи з 3-ї сторінки;
- нумерація рисунків, формул та таблиць за схемою: *N1.N2* (*N1*- номер розділу, *N2* - номер об'єкту в розділі), наприклад, табл. 2.1 – перша таблиця в першому розділі, таким же чином для рисунку – рис. 2.1, для формули – (2.1);
- рисунки можуть бути виконані в *MS Word* або *MS Visio*.

ЗАВДАННЯ

до розрахункової роботи для кредитного модуля «Інтелектуальні системи управління»

I. Вибрати для дослідження хімічне або споріднене за процесами виробництво. Узгодити з викладачем для подальшого дослідження підсистему з 3 – 5 апаратів та дати опис технологічних процесів, які в ній відбуваються (кількість апаратів залежить від складності підсистеми).

II. Застосувати до підсистеми алгоритм аналізу технологічних змінних і можливих аварійних ситуацій для створення експертної системи діагностувального та прогнозувального типів. Скласти таблицю, в якій знаходиться всебічна інформація про досліджувані технологічні об'єкти (база знань).

III. На основі бази знань побудувати дерево можливих аварійних ситуацій із зазначенням рекомендацій по їх усуненню.

IV. Розробити нечітку автоматичну систему керування (НчАСК) технологічною змінною одного з процесів підсистеми (узгодити з викладачем). Для цього виконати наступне:

- обґрунтувати вибір (НчАСК);
- описати лінгвістичні змінні, що фігурують у НчАСК; подати функції належності математично та графічно;
- сформулювати нечіткі правила керування;
 - розрахувати керувальні змінні системи управління (дефазифікацію) за різними алгоритмами (узгодити з викладачем):
 - модифікації правих частин нечітких правил керування – метод мінімуму чи добутку;
 - суперпозиції нечітких множин правих частин правил – методи максимуму чи підсумовування.
- реалізувати нечітку систему засобами математичних процесорів *MathCAD* і *MatLab*.

Склад, обсяг і структура розрахункової роботи

Розрахункова робота подається у вигляді пояснювальної записки, яка містить текстову частину з описом технології, схему виробництва, схему алгоритму формалізації знань, таблицю з даними про властивості технологічних об'єктів, схему аварійних ситуацій (дерево), рисунки з функціями належності та відповідні математичні моделі, перелік нечітких правил, вікна документів спеціалізованих програми, які ілюструють спосіб розробки нечіткої системи. Обсяг роботи не повинен перевищувати 25 сторінок.

Згідно з наведеними вище завданнями на розрахункову роботу її структура повинна бути наступною:

Титульний аркуш

Завдання на розрахункову роботу

Зміст (*приклад наведено далі*)

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

1.1. Опис технології відділення (*назвати конкретне відділення*) у виробництві (*назвати конкретне виробництво*)

1.2. Аналіз технологічних об'єктів керування відділення (*назвати конкретне відділення*) для створення експертної системи

2. СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БАЗИ ЗНАНЬ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАЛЬНОГО ТА ПРОГНОЗУВАЛЬНОГО ТИПІВ

2.1. Створення бази даних для аналізу станів об'єктів відділення (*назвати відділення цього виробництва*)

2.2. Формування дерева аварійних ситуацій з рекомендаціями по їх усуненню

2.3. Обґрунтування вибору найбільш інформативних технологічних змінних для аналізу аварійних ситуацій

3. СТВОРЕННЯ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1. Обґрунтування для створення нечіткої системи керування, визначення її структури

3.2. Вибір та опис лінгвістичних змінних

3.3. Створення нечіткої математичної моделі об'єкта керування

3.4. Розробка продукційних правил нечіткої системи керування

3.5. Результати реалізації нечітких моделі та системи засобами *MathCAD* і *MatLab*

Список використаної літератури

Додатки (за необхідністю)

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ, ПОЯСНЕННЯ ТА ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ

Для уникнення плутанини з нумерацією рисунків, таблиць та формул, нумерація тексту методичних рекомендацій виконана римськими цифрами, а у прикладах виконання завдань використані арабські цифри. Міжрядковий інтервал у прикладі опису технології – 1,0.

I. Вибрати для дослідження хімічне або споріднене за процесами виробництво. Узгодити з викладачем для подальшого дослідження підсистему з 3 – 5 апаратів та дати опис технологічних процесів, які у ній відбуваються (кількість апаратів залежить від складності підсистеми)

Виконуючи цей пункт завдання, треба описати процеси, які відбуваються у кожному апараті відділення. Вказати основні задачі роботи відділення та задачі, які буде розв'язувати система його автоматизації.

Назвати найбільш важливі вхідні та вихідні технологічні змінні у відділенні та пояснити чому їх слід такими вважати.

Треба створити структурно-параметричну схему для відділення, на якій спрощено вказати апарати, усі матеріальні та енергетичні (якщо мова йде про електричну енергію) потоки, їхні назви та основні характеристики цих потоків.

Для прикладу розглянемо установку каталітичного крекінгу. Опис може мати наступний вид.

Розпилені водяною парою сировина й шлам змішуються в ліфт реакторі з регенованим каталізатором, що надходить із регенератора 3. При контактуванні парорідинної суміші з гарячим каталізатором, що надходить із регенератора, рідка фаза випаровується, знижуючи температуру каталізатора.

У нижню частину прямотечійного реактора через кільцевий барботер подають водяну пару з температурою 230-350°C і тиском до 1,2 МПа для підтримки киплячого шару каталізатора.

Пару нафтопродуктів, яка рухається знизу нагору в прямотечійному реакторі, піддають каталітичному крекінгу.

Температурний режим у реакторі контролюють у наступних місцях:

- у нижній частині прямотечійного реактора;
- у зоні вузла введення транспортної пари;
- по висоті прямотечійного реактора;
- у зоні виведення відпрацьованого каталізатора;
- у верхній зоні десорбера реактора;
- у зоні виведення форсованого киплячого шару із прямотечійного реактора;
- у відстійній зоні;
- у збірній камері;
- у стінці апарата.

Час контакту вуглеводневої сировини з каталізатором становить близько 3 с, об'ємна швидкість подачі сировини – $2 - 8 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$; масове співвідношення «каталізатор/сировина» (кратність циркуляції каталізатора) від 3:1 до 8:1, витрата каталізатора 0,3 – 0,4 кг на 1000 кг сировини.¹

1.2. Аналіз технологічних об'єктів керування каталітичного крекінгу для створення експертної системи

Основними факторами, що впливають на процес каталітичного крекінгу, є: властивості каталізатора, температура процесу, кратність циркуляції каталізатора, тривалість контакту сировини й каталізатора, якість сировини.

Для забезпечення максимального виходу цільових продуктів і мінімальної кількості побічних, а також досягнення високих техніко-економічних показників процесу, каталізатор повинен мати наступні властивості:

- високу активність, що визначає більшу глибину перетворення вихідної сировини за інших рівних умов;
- високу вибірковість, яка оцінюється здатністю каталізатора прискорювати реакцію в необхідному напрямку, знижувати швидкість побічних реакцій;

¹ Технологія та перелік технологічних змінних наведено скорочено

- стабільність (стійкість до стирання, розтріскування);
- високі регенераційні властивості.

Збільшення об'ємної швидкості подачі сировини в реактор знижує глибину перетворення сировини, знижує відсоток виходу коксу на сировину (загальна кількість коксу в регенераторі збільшується).

Температура в реакторі знижується за рахунок великого поглинання тепла в результаті випару додаткової кількості сировини, у порівнянні з теплом, яке виділяється при згорянні додаткової кількості коксу.

Збільшення кратності циркуляції каталізатора збільшить глибину перетворення, відсоток відкладання коксу на каталізаторі, температуру в реакторі. Подача повітря в регенератор повинна бути збільшена для підтримки постійної концентрації кисню в димових газах.

Збільшення змісту кисню в газах регенерації за рахунок збільшення подачі повітря знижує вміст коксу на регенованому каталізаторі, утворення вуглецю в реакторі й температуру в регенераторі.²

На рис. 1.2 зображено структурно - параметричну схему для установки.

² Подано фрагмент аналізу процесів

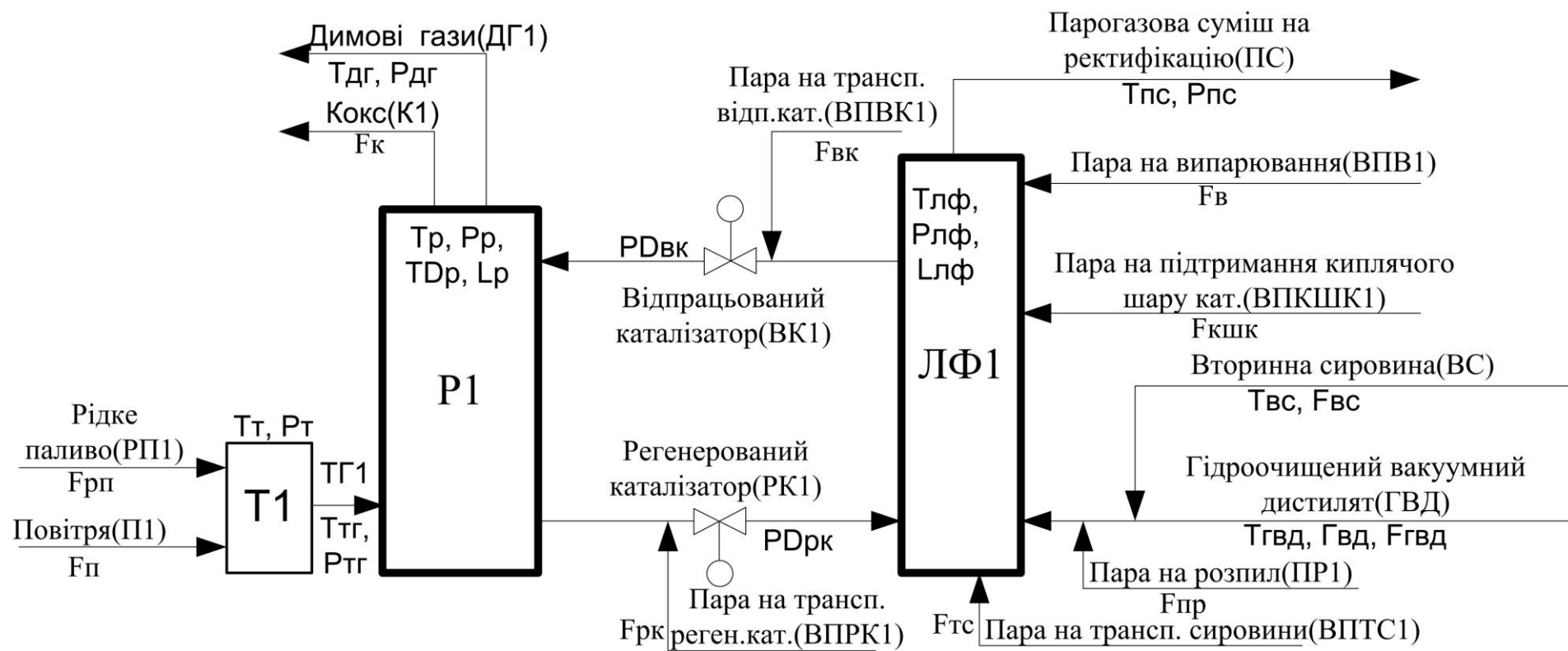


Рис. 1.1. Структурно – параметрична схема установкис каталітичного крекінгу

T1 – топка; P1 – регенератор; ЛФ1 – ліфт-реактор; ТГ1 – потік топкових газів

II. Застосувати до підсистеми алгоритм аналізу технологічних змінних і можливих аварійних ситуацій для створення експертної системи діагностувального та прогнозувального типів. Скласти таблицю, в якій знаходиться всебічна інформація про досліджувані технологічні об'єкти (база знань)

Основною задачею цього пункту завдання є врахування усіх можливих факторів впливу на процес для подальшого їх аналізу і вибору найбільш суттєвих. З метою формалізації процесу отримання знань рекомендовано скористатися спеціальним алгоритмом аналізу технологічних змінних і можливих аварійних ситуацій (див. рис. II.1).

Наведемо опис цього алгоритму (схему та опис треба надати у п. 2.1 розрахункової роботи).

Блок 1. Надають змінній u_j назву, що складається з назви властивості потоку (матеріального або енергетичного) та назви цього потоку. Можна вказувати не тільки властивості потоків, а також і властивості середовищ в середині апаратів (багато з таких властивостей є так званими режимними параметрам, до значень яких у технологічному регламенті висунуто певні вимоги).

Блок 2. Ідентифікують u_j , тобто надають їй шифр. Шифр – скорочене позначення, що складається з літер та цифр, його використовують як унікальну коротку назву змінної u_j .

Блок 3. Ідентифікують матеріальний потік, характеристикою якого виступає u_j , вказуючи його назва та шифр. Для скорочення ширини таблиці можна обмежитись тільки шифром потоку, оскільки його назва присутня завдяки блоку 1.

Можна також створити окрему таблицю з переліком назв потоків та їхніх шифрів.

Блок 4. Надають назву та шифр технологічному апарату (пристрою), для якого y_j – вихідна змінна. Для скорочення ширини таблиці можна обмежитись тільки шифром апарату. Можна створити окрему таблицю з переліком назв апаратів та їхніх шифрів.

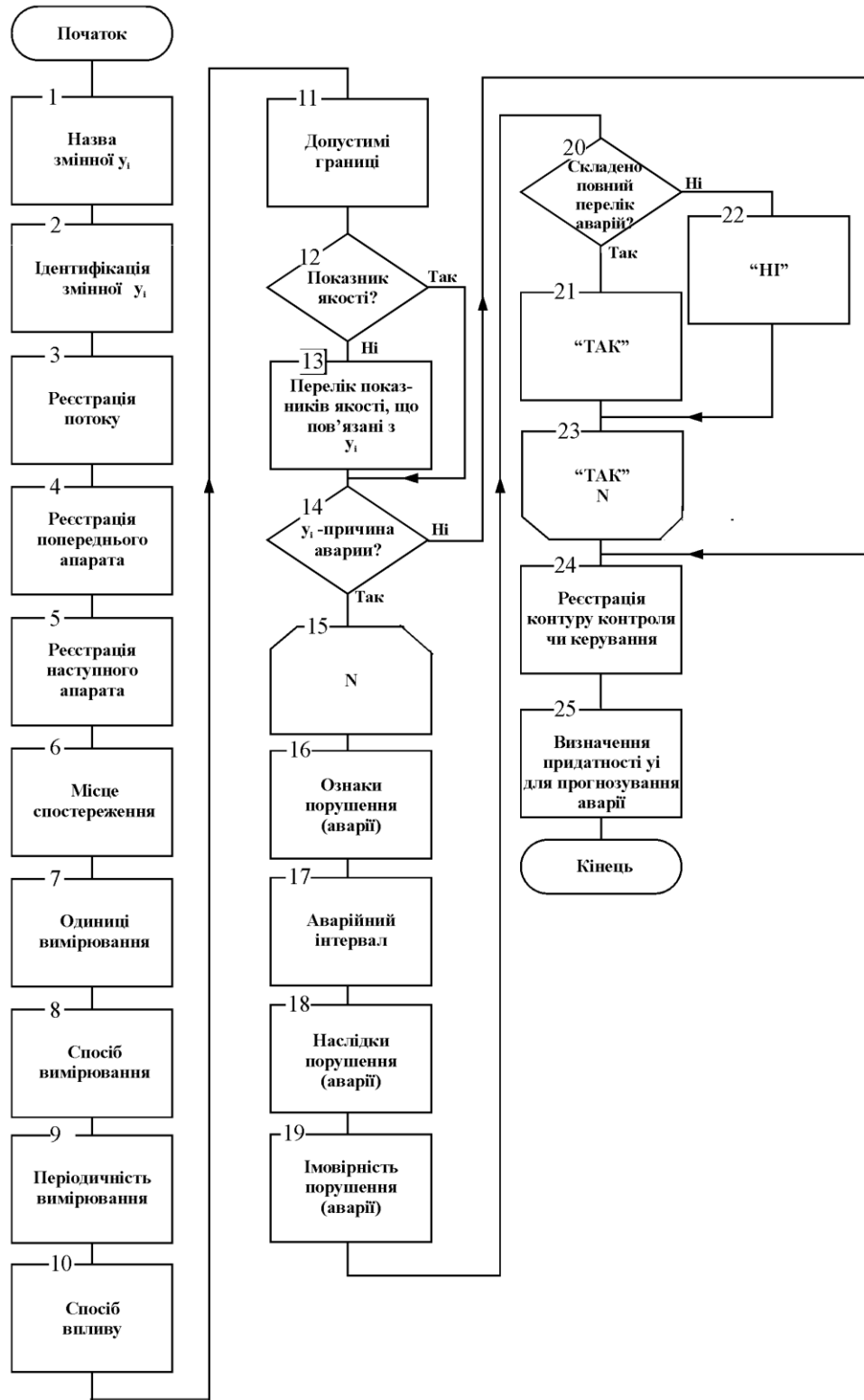


Рис.П.1. Схема алгоритму фіксації характеристик технологічних змінних

Блок 5. Надають назву та шифр технологічному апарату (пристрою), для якого y_j – вхідна змінна. Як і блоці 4 можна обмежитись тільки шифром апарату.

Блок 6. Визначають місце, де встановлено технічний засіб для вимірювання змінної y_j (трубопровід, зона печі, приміщення цеху тощо).

Блок 7. Вказують одиницю вимірювання змінної y_j .

Блок 8. Визначають спосіб вимірювання (автоматичний чи лабораторний) змінної y_j .

Блок 9. Вказують періодичність вимірювання змінної y_j . У залежності від способу вимірювання треба вибрати потрібні з таких часових інтервалів: Δt – час дискретизації при опитуванні автоматичного вимірювального пристрою; Δt_1 – періодичність відбору проб для лабораторного аналізу; Δt_2 , – тривалість лабораторного аналізу.

Блок 10. Описують можливий спосіб зміни технологічної змінної y_j (змінити y_j неможливо, безпосередній ручний вплив, дистанційний ручний вплив, керувальний вплив АСК цієї чи іншої змінної).

Блок 11. Наводять припустимі межі (границі): $y_{j\min}$, $y_{j\max}$.

Блок 12. З'ясовують належність y_j до показників якості продукції (або напівпродукту, в залежності від того, яку частину хіміко-технологічної системи студент розглядає в розрахунковій роботі).

Якщо y_j не є показником якості, то треба перейти до виконання блоку 13, якщо ця змінна y_j належить до переліку показників якості продукції то треба перейти до виконання блоку 14.

Блок 13. Формують повний перелік показників якості продукції, що пов'язані з y_j .

Блок 14. З'ясовують, чи може стати відхилення u_j від заданого припустимого діапазону причиною порушення (аварії). В разі позитивної відповіді треба перейти до блоку 15, негативної — до блоку 24.

Блок 15. Початок циклічних дій: операції виконують для кожного N -о порушення (аварійної ситуації).

Блок 16. Складають перелік ознак аварійної ситуації.

Блок 17. Фіксують підінтервали значень для u_j , в яких можливі різні ознаки порушення (аварії), описані в блоці 16 (якщо у цьому є потреба).

Блок 18. Формують перелік техніко-економічних та соціальних наслідків кожного порушення.

Блок 19. Оцінюють імовірність порушення при виході змінної u_j за припустимі межі (при потребі у кожному аварійному підінтервалі, див. блок 17).

Блок 20. Перевіряють повноту переліку порушень для u_j . Якщо складений повний перелік, то треба перейти до блоку 21, якщо ні — до блоку 22.

Блок 21. Надання ідентифікатору коду сформованості повного переліку порушень значення «ТАК» (тобто, враховані усі можливі порушення).

Блок 22. Надання ідентифікатору коду значення «НІ».

Блок 23. Умова закінчення циклічних дій.

Блок 24. Пов'язують змінну u_j з системою контролю чи керування шляхом подання шифру цієї системи (за додатковим завданням викладача).

Блок 25. Визначають, чи доцільно використати змінну u_j для оцінювання та прогнозування ситуації у поточному апараті.

Цей алгоритм показує, що експерти, залучені до створення ЕС повинні мати ґрунтовні знання стосовно теорії процесів, які відбуваються в кожному апараті, та ознайомлені з вимогами до керування ними, вказаними у технологічному регламенті.

Ідентифікатори змінних та шифри апаратів студент може виконувати за власною системою: окремі символи, текст і т. ін. За таким же алгоритмом можна збирати інформацію про режимні параметри у середині кожного апарату.

Для прикладу результати аналізу процесів можна подати у вигляді таблиці (фрагменту), позначимо її табл. 2.1 – перша таблиця розділу 2 розрахункової роботи.

Двовимірну таблицю (таку як табл. 2.1) можна розглядатися як реляційну базу даних, у нашому випадку цю таблицю розглядатимемо як частину бази знань, яка містить факти.

Схему відношення **ТЕХНОЛОГІЧНА ЗМІННА** формують блоки наведеного вище алгоритму, запишемо її так:

- 1 – Назва змінної
- 2 – Ідентифікація змінної
- 3 – Реєстрація потоку
- 4 – Реєстрація попереднього апарату
- 5 – Реєстрація наступного апарату
- 6 – Місце спостереження
- 7 – Одиниці вимірювання
- 8 – Спосіб вимірювання
- 9 – Періодичність вимірювання
- 10 – Допустимі границі
- 11 – Показники якості
- 12 – Перелік показників якості
- 13 – Причина аварії
- 14 – Ознака аварії
- 15 – Наслідки
- 16 – Імовірність порушення
- 18 – Визначення придатності змінної для прогнозування аварії (придатна – «+», а не придатна – «-»).

Таблиця 2.1. База знань про об'єкти керування установки каталітичного крекінгу

№	Назва змінної	Ідент. змінної	Реєстрація потоку	Реєстрація попереднього апарату	Реєстрація наступного апарату	Місце спостереження	Одиниці вимірювання	Спосіб вимірювання	Періодичність вимірювання	Допустимі границі	Показник якості	Перелік показників якості, що пов'язані зі змінною	Змінна – причина аварії?	Ознаки порушення (аварії)	Наслідки порушення (аварії)	Імовірність порушення (аварії)	Визначення придатності змінної для прогнозування аварії
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Потоки																	
1	Витрата рідкого палива	Frп	РП1	З1	ПЧ1	Трубо-провід	м3/год	Авт.	Неперервно	9000-16000	ні	Температура	Так	Температура недопустима	Порушення випалювання каталізатора	30%	+
2	Витрата повітря	Fп	П1	К1	ПЧ1	Труб.	м3/год	Авт.	Неп.	90000-160000	ні	Температура	Так	Зупинка регенератора	Порушення випалювання	40%	-
3	Температура топкових газів	Tтг	ТГ1	Т1	Р1	Зона топки	С	Авт.	Неп.	400-550	Так	---	Так	Температура недопустима	Порушення випалювання	30%	-
4	Тиск топкових газів	Pтг	ТГ1	Т1	Р1	Зона топки	МПа	Авт.	Неп.	0,5-1,0	Ні	Температура	Так	Неприпустимий тиск	Розгерметизація	3%	-
5	Температура димових газів	Tдг	ДГ1	Р1	Рекуператор	Вихід Р1	С	Авт.	Неп.	600-720	Так	---	Так	Зависока температура	Підвищений винос коксу	50%	+
6	Тиск димових газів	Pдг	ДГ1	Р1	Рекуператор	Вихід Р1	МПа	Авт.	Неп.	0,085-0,165	Ні	Температура	Так	Поламка сепараторів в коксу	Вивільнення коксу	50%	+
7	Витрата коксу	Fк	К1	Р1	ЗК	Труб.	кг/год	Авт.	Неп.	300-400	Ні	---	Ні	----	----	---	-
8	Перепад тиску на трубопроводі відпрацьованого каталізатора	PDвк	ВК1	ЛФ1	Р1	Труб.	МПа	Авт.	Неп.	0,02-0,1	Ні	---	Так	Неприпустиме значення	Порушення циклічності процесу	10%	-
9	Перепад тиску в трубопроводі регенованого каталізатора	PDрк	РК1	Р1	ЛФ1	Труб.	МПа	Авт.	Неп.	0,02-0,1	Ні	---	Так	Неприпустиме значення	Каталізатор не надходить, реакція не відбувся	10%	-
10	Витрата пари на транспорт. відпрац. каталізатора	Fвк	ВПК1	Збірник	Труб. ВК1	Труб.	кг/год	Авт.	Неп.	300-630	Ні	---	Так	Неприпустиме значення	Порушення циркуляції каталізатора	15%	-

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
11	Витрата пари на транспорт. регеновано го каталізатора	Фрк	ВПК 1	Збірник	Труб. РК1	Труб.	кг/год	Авт.	Неп.	300-630	Ні	---	Так	Неприпустиме значення	Порушенн циркуляції каталіза-тора	15%	-

23	Тиск в регенераторі	Рр	Р1	Т1	ЛФ1	Р1	МПа	Авт.	Неп.	0,7-0,9	Ні	Перепад температури	Так	Вихід з ладу сепараторі в коксу	Вивільнення коксу	70%	+
24	Температура в регенераторі	Тр	Р1	Т1	ЛФ1	Р1	С	Авт.	Неп.	550-700	Ні	Перепад температури	Так	Вихід з ладу сепараторі в коксу	Вивільнення коксу	70%	+
25	Перепад температур в регенератор	ТДр	Р1	Т1	ЛФ1	Р1	С	Авт.	Неп.	25-30	Так	---	Так	Вихід з ладу сепараторі в коксу	Вивільнення коксу	90%	+
26	Рівень каталізатора в регенераторі	Лр	Р1	Т1	ЛФ1	Р1	% шкали	Авт.	Неп.	40-80	Ні	---	Так	Неприпустиме значення	Порушен-ня цирк. катал-ра	30%	---
27	Температура в топці	Тт	Т1	Збірники	Р1	Т1	С	Авт.	Неп.	400-550	Так	---	Так	Неповне випалювання каталізатора	Неякісний каталіза-тор	20%	-
28	Тиск в топці	Рт	Т1	Збірники	Р1	Т1	МПа	Авт.	Неп.	0,5-1,0	Ні	Температура	Так	Неповне випалювання каталізатора	Неякісний каталіза-тор	20%	-
29	Рівень каталізатора в реакторі	Ллф	ЛФ1	Р1	Рект Кол	ЛФ1	% шкали	Авт.	Неп.	40-80	Ні	---	Так.	Хімічна реакція пройде частково	Брак продукції	30%	+
30	Температура в реакторі	Тлф	ЛФ1	Р1	Рект Кол	ЛФ1	С	Авт.	Неп.	480-670	Ні	---	Так	Хімічна реакція пройде частково	Брак продукції	30%	-
31	Тиск в реакторі	Рлф	ЛФ1	Р1	Рект Кол	ЛФ1	МПа	Авт.	Неп.	0,3-0,8	Ні	---	Так	Хімічна реакція пройде частково	Брак продукції	30%	-

III. На основі бази знань побудувати дерево можливих аварійних ситуацій із зазначенням рекомендацій по їх усуненню

До аварійних ситуацій слід віднести наступні: погіршення якості продукції, брак, вибух, пожежу, перевищення гранично припустимих концентрацій (ГПК) шкідливих речовин, розгерметизацію обладнання, розрив чи ушкодження трубопроводів, перехід режимних параметрів за припустимі границі та інші, які можуть статися у конкретному виробництві.

Використовуючи перелік аварійних ситуацій (п. 15), їхні причини (п. 14) і наслідки (п. 16), треба побудувати дерево аварійних ситуацій, можливих у досліджуваному відділенні. Пошук причини аварійної ситуації повинен закінчитися рекомендацією по її усуненню. Приклад такого дерева наведено на рис. III.1.

Розглянемо його більш детально. Фактично, отримане дерево є графічною структурою вербальної (сміслової) моделі міркувань експерта під час вирішення проблем, пов'язаних з виникненням аварійних ситуацій. Це сітьова структура, у вузлах якої знаходяться можливі відхилення об'єкта керування від нормального режиму роботи.

Отримане дерево використовують для розв'язання задач прогнозування та діагностування. Це стає можливим завдяки трактуванню дуг дерева у випадку діагностування - "**може бути викликаний**" (рух по дереву згори униз), а у випадку прогнозування - "**може викликати**" (рух по дереву знизу нагору).

На найвищому рівні слід розташувати аварійні ситуації (порушення) кінцевого типу – брак, погіршення якості, пожежі, вибухи, перевищення ГПК шкідливих речовин тощо.

Аварійні ситуації рекомендовано позначати у колах чи еліпсах.

Імовірність, з якою поява події одного вузла дерева викликає подію іншого вузла, визначають при опитуванні експертів. Значення цієї ймовірності були занесені до відповідного стовпця табл. 2.1.

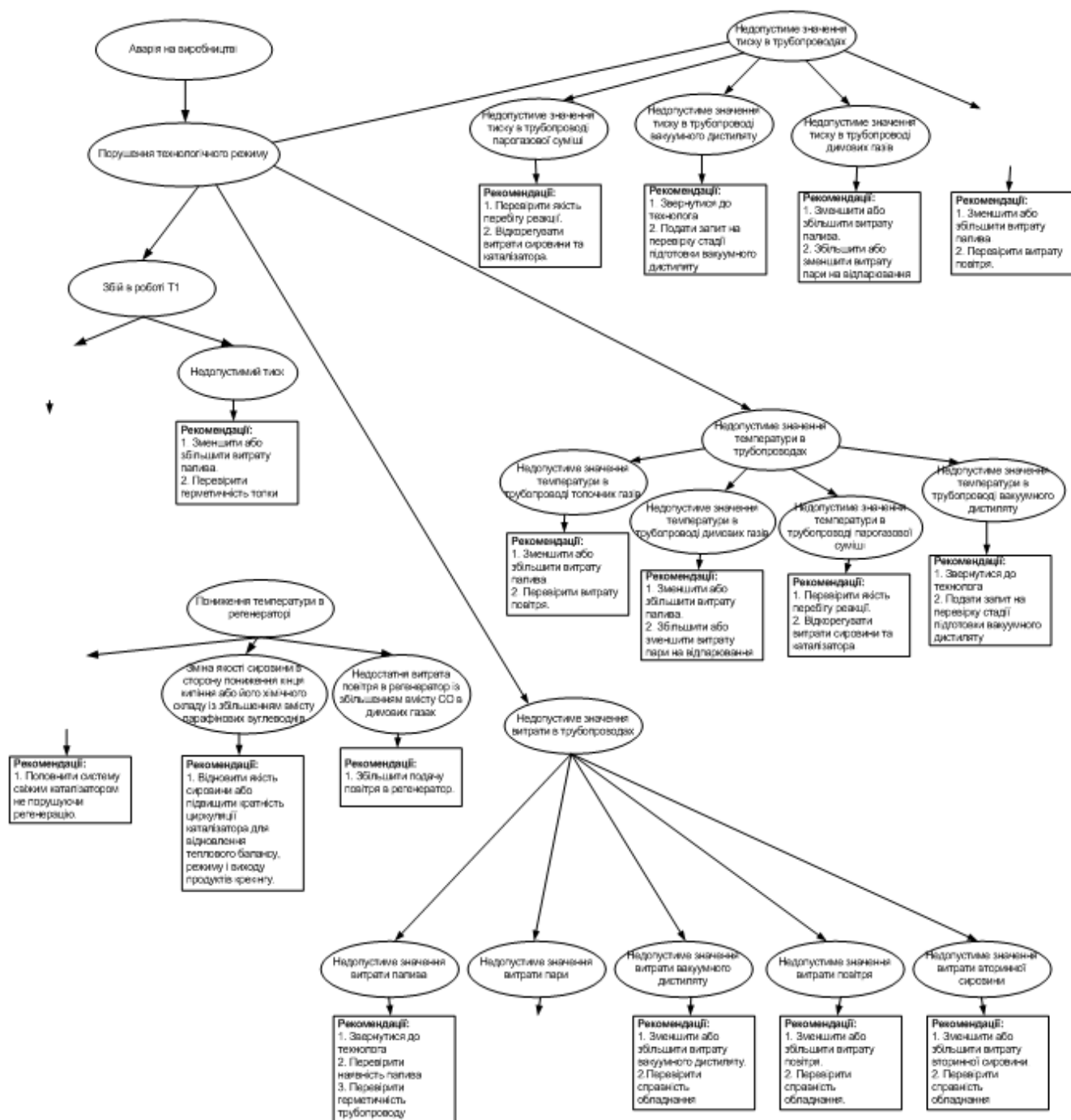


Рис. III.1. Фрагмент дерева аварійних ситуацій у відділенні каталітичного крекінгу

У п. III завдання дослідник повинен **вибрати 2 – 4 технологічні змінні**, спостереження за якими дозволить найбільш **повно оцінити стан технологічної системи**. При виборі треба керуватися способом вимірювання (він повинен бути автоматичним), імовірністю аварії, яка може статися в результаті виходу змінної за припустимі межі, а також важкістю її наслідків.

Згідно з табл. 2.1 до таких змінних можуть належати витрата рідкого палива, температура димових газів, тиск димових газів, тиск в регенераторі та інші, для яких в 19 пункті таблиці було проставлено знак «+».

IV. Розробити нечітку автоматичну систему керування (НчАСК) технологічною змінною одного з процесів підсистеми. Для цього виконати наступне:

- обґрунтувати вибір (НчАСК);
- описати лінгвістичні змінні, що фігурують у НчАСК; подати функції належності математично та графічно;
- сформувати нечіткі правила керування; розрахувати керувальні змінні системи управління засобами *MathCAD*;
- реалізувати нечітку систему засобами *MatLab*.

Для прикладу розглянуто створення нечіткої автоматичної системи керування рівня каталізатора у ліфт-реакторі (далі «реактор»), $L_{\text{лф}}$. Керувальним впливом є витрата пари на випарювання, $F_{\text{в}}$. Фрагмент схеми автоматизації з вказаним контуром керування наведено на рис. IV.1

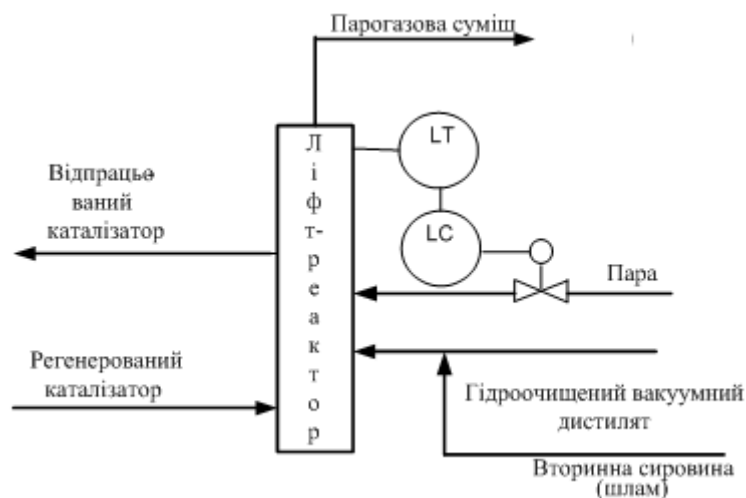


Рис. IV.1. Фрагмент схеми автоматизації з контуром керування рівня

Далі треба почати етап **фазифікації** – вибрати та описати лінгвістичні змінні, зокрема, вказати універсуми, типи функцій належності, правила нечіткого висновку (продукції).

У *MatLab* можна використати наступні функції належності: *трикутну*, *трапецієвидну*, *Z – та S – подібні*, зокрема *лінійні* їхні види, *сигмоїдну*.

У прикладі лінгвістичними змінними визначено *рівень каталізатора в реакторі*, $L_{\text{лф}}$ та *витрата пари на випарювання*, $F_{\text{в}}$.

Спочатку треба сформулювати терми та функції належності для $L_{\text{лф}}$, яка змінюється в діапазоні від 40 % до 80 % від припустимого значення (універсум). Для цієї лінгвістичної змінної визначено терми: «низький», «нормальний», «високий».

Опишемо цю змінну так:

низький

Лінгвістична змінна: *<Рівень ; нормальний ; $40 < L_{\text{лф}} \leq 80$ >*

високий

На рис. IV.2 – IV.4 зображено графіки функцій належності різних термів лінгвістичної змінної *Рівень каталізатора в реакторі*.

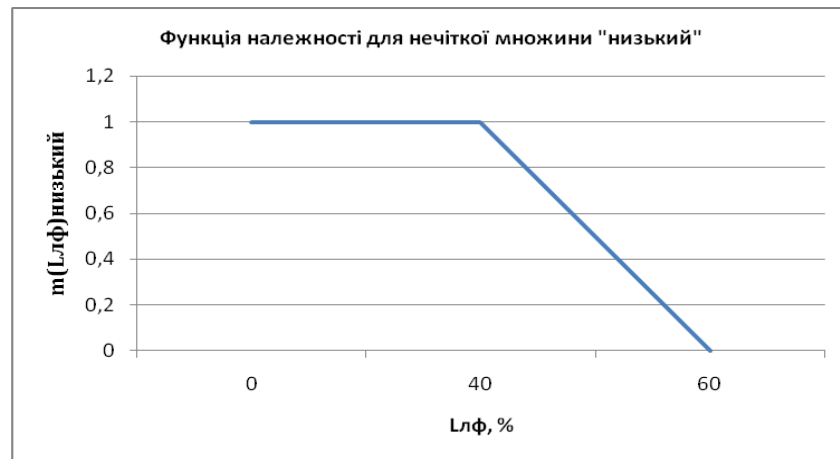


Рис. IV.2. Функція належності *Рівень низький*

Функцію належності *Рівень низький* описано наступним чином:

$$\mu_{L_{\text{лф}}_Низький}(L_{\text{лф}}) = \begin{cases} 1, L_{\text{лф}} < 40 \\ \frac{60 - L_{\text{лф}}}{20}, 40 \leq L_{\text{лф}} < 60 \\ 0, L_{\text{лф}} > 60 \end{cases}.$$

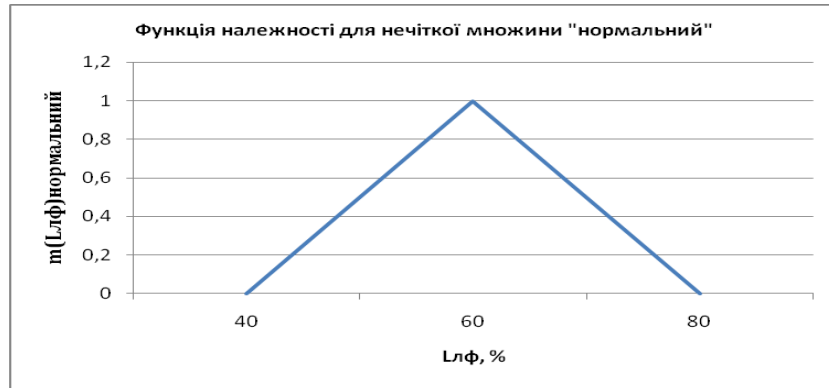


Рис. IV.3. Функція належності *Рівень нормальний*

Функцію належності *Рівень низький* описано наступним чином:

$$\mu_{Lлф_Нормальный}(Lлф) = \begin{cases} 0, Lлф < 40 \text{ або } Lлф > 80 \\ \frac{Lлф - 40}{20}, 40 \leq Lлф < 60 \\ \frac{80 - Lлф}{20}, 60 \leq Lлф \leq 80 \end{cases}.$$

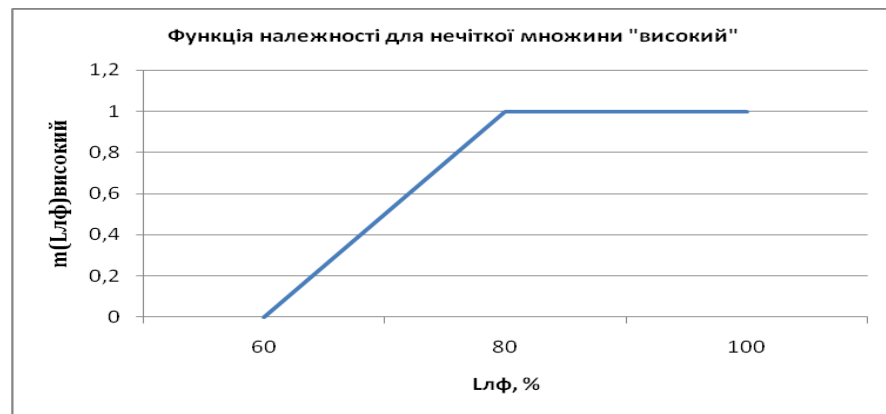


Рис. IV.4. Функція належності *Рівень високий*

Функцію належності *Рівень високий* описано наступним чином:

$$\mu_{Lлф_Високий}(Lлф) = \begin{cases} 1, Lлф > 80 \\ \frac{Lлф - 60}{20}, 60 < Lлф < 80 \\ 0, Lлф \leq 60 \end{cases}$$

Схожим чином розглянемо керувальну змінну **Витрата пари на випарювання** F_v , як лінгвістичну.

мала

Лінгвістична змінна: $\langle \text{Витрата пари; нормальна} ; 3200 < F_v \leq 5800 \rangle$

велика

На рис. IV.5 зображено терму «мала» лінгвістичної змінної F_v .

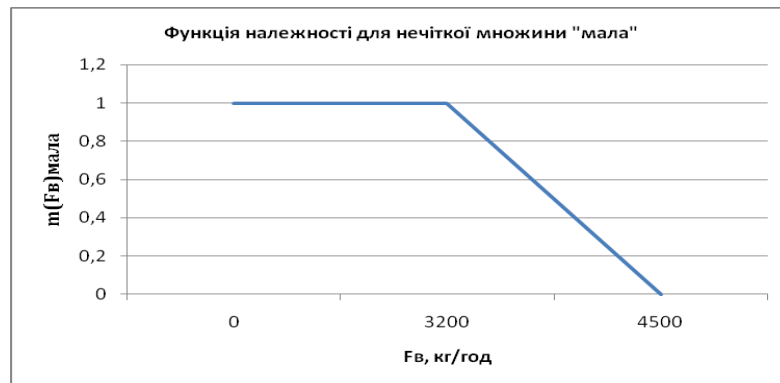


Рис. IV.5. Функція належності **Витрата мала**

Функцію належності **Витрата мала** описано наступним чином:

$$\mu_{F_v_Мала}(F_v) = \begin{cases} 1, F_v < 3200 \\ \frac{4500 - F_v}{1300}, 3200 \leq F_v < 4500 \\ 0, F_v > 4500 \end{cases}$$

На рис. рис. IV.6 .вказані графіки усіх функцій належності.

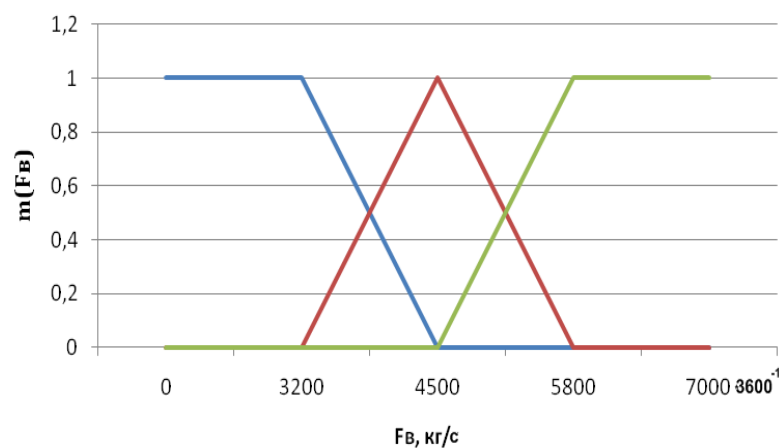


Рис. IV.6 .Графіки усіх функцій належності керувальної змінної

Наступним кроком фаззифікації є формування нечітких правил керування:

ЯКЩО Рівень в реакторі «низький», ТО Витрата пари повинна бути «велика».

ЯКЩО Рівень в реакторі «нормальний», ТО Витрата пари повинна бути «нормальна».

ЯКЩО Рівень в реакторі «високий», ТО Витрата пари повинна бути «мала».

Наприклад, рівень у реакторі 70 %. Знайдемо ступінь входження цього значення $L_{\text{лф}}$ у кожний i – й терм, $\mu(70)_i$: $\mu(70)_{\text{низький}} = 0$; $\mu(70)_{\text{нормальний}} = 0,5$; $\mu(70)_{\text{високий}} = 0,5$.

Урахування ступенів входження у ліві частини правил використовують для модифікації нечітких множин правих частин правил. Для цього запропоновано два методи: *мінімуму* та *добутку*. Перший (рис. IV.7) обмежує функцію належності множини правої частини правила значенням правдивості лівої частини правила.

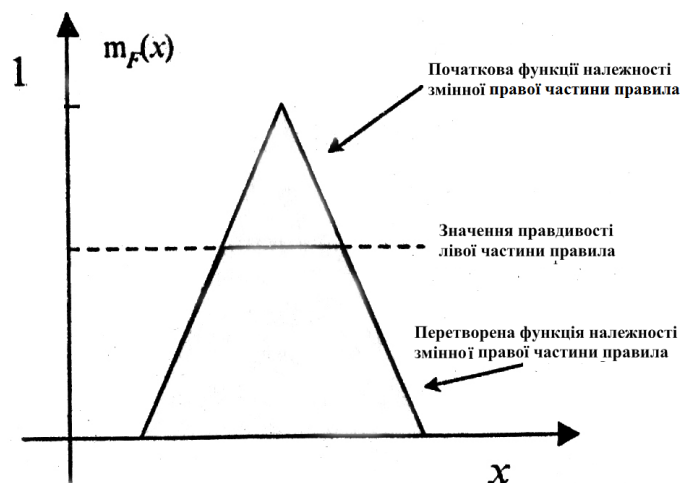


Рис. IV.7. Ілюстрація перетворення функції належності методом *мінімуму*

У методі *добутку* значення правдивості лівої частини правила використовують як коефіцієнт, на який треба множити функцію належності змінної правої частини правила (див. рис. IV.8).

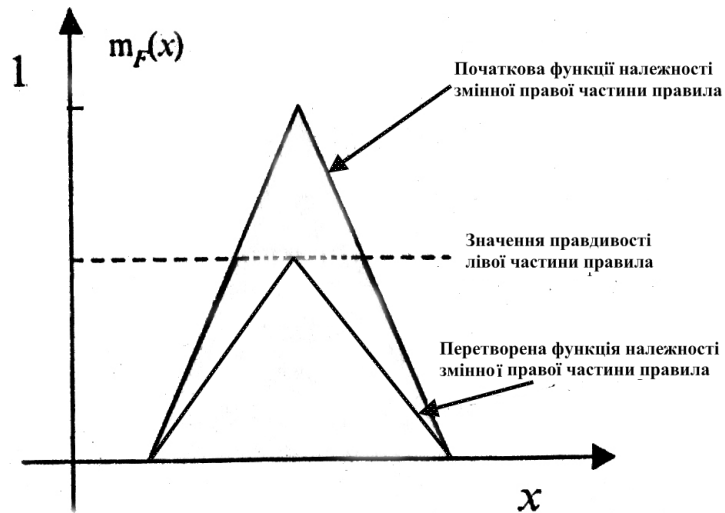


Рис. IV.8. Ілюстрація перетворення функції належності методом *добутку*

Використаємо *метод добутків*, тобто помножимо кожен i – у функцію належності F_B на відповідний коефіцієнт входження $\mu(70)_i$. На рис. IV.9. зображено, як будуть перетворені множини «велика», «нормальна», «мала» керувальної змінної **Витрата води**, що розташовані у правих частинах правил.

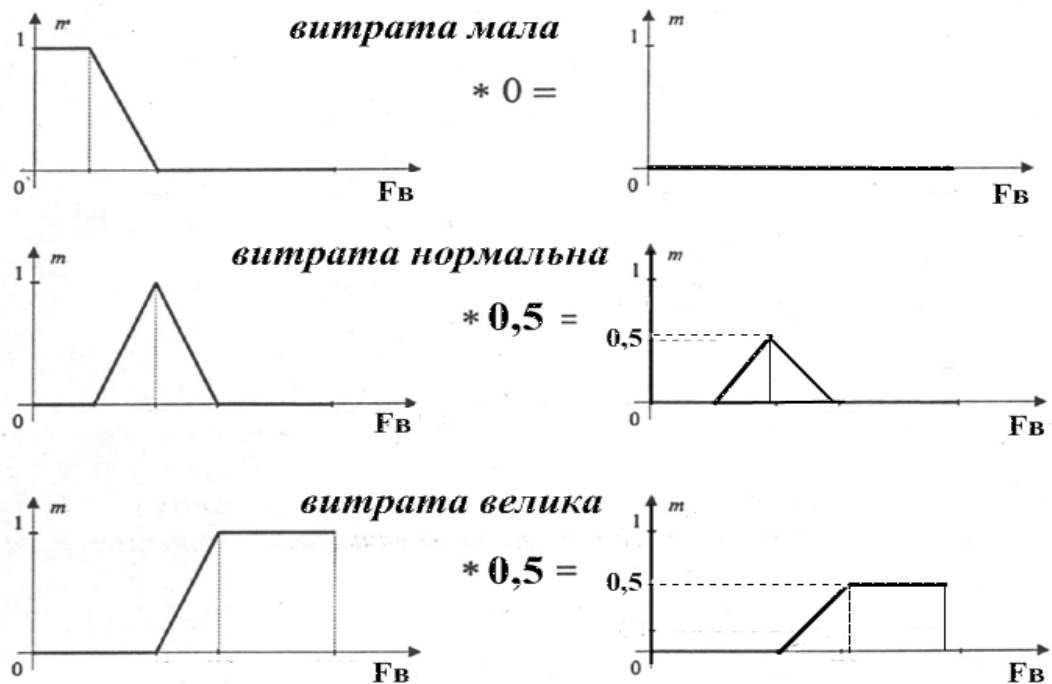


Рис. IV.9. Ілюстрація перетворення функцій належності правих частин правил методом *добутку*

Далі треба врахувати дію усіх існуючих правил, тобто виконати *суперпозицію* (об'єднання) отриманих нечітких множин. Розглянемо два методи виконання цієї операції – методи *максимуму* та *підсумовування*. Результати показано на рис. IV.10.

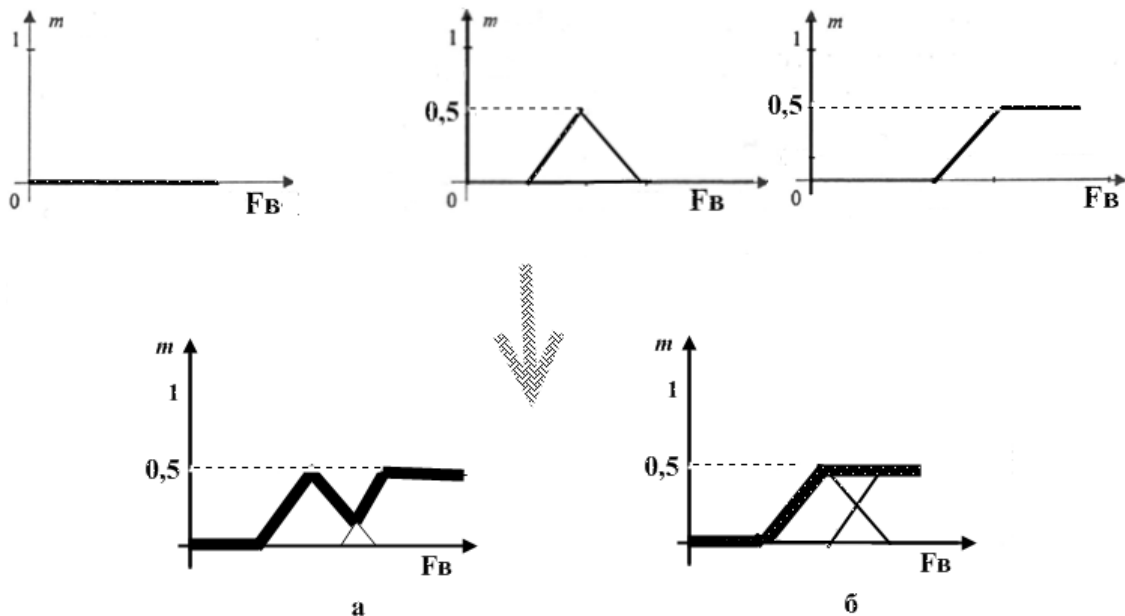


Рис. IV.10. Результати суперпозиції нечітких множин:
а) методом максимуму; б) методом підсумовування

Для вибраного прикладу виконаємо суперпозицію *методом підсумовування*.

Після цих розрахунків починають етап *дефаззифікації* – перехід до числового значення керувальної змінної (скалярізація).

Отримавши такі перетворені функції належності для керувальної змінної *Витрата пари*, на етапі дефаззифікації треба знайти одне її значення, яке повинно бути реалізоване при рівні каталізатора 70%. Зазвичай воно відповідає центру ваги фігури IV.10а або IV.10б.

У розрахунковій роботі треба створити НчАСК засобами *MatLab*.

Результат треба подати у вигляді вікон наступного виду:

- схеми НчАСК (рис. IV.11),
- редактора функцій належності для вхідних і керувальної змінних (рис. IV.12, рис. IV.13),
- редактора правил продукції після їх визначення (рис. IV.14),
- перегляду результату використання правил продукції (рис. IV.15),
- перегляду поверхні нечіткого висновку (рис. IV.16).

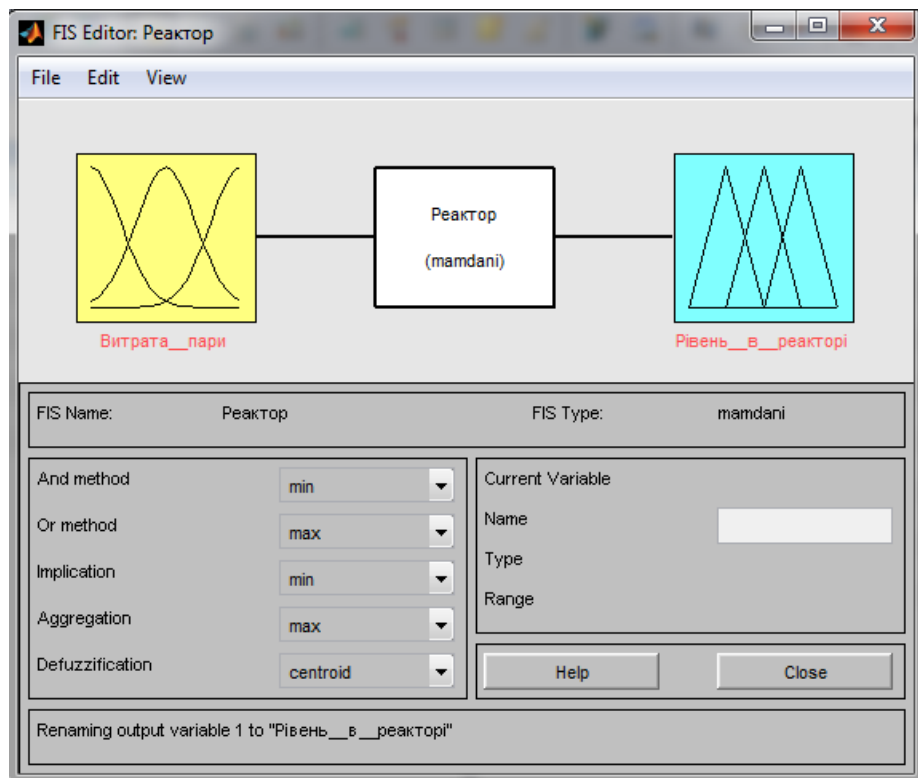


Рис. IV.11. Схема НчАСК

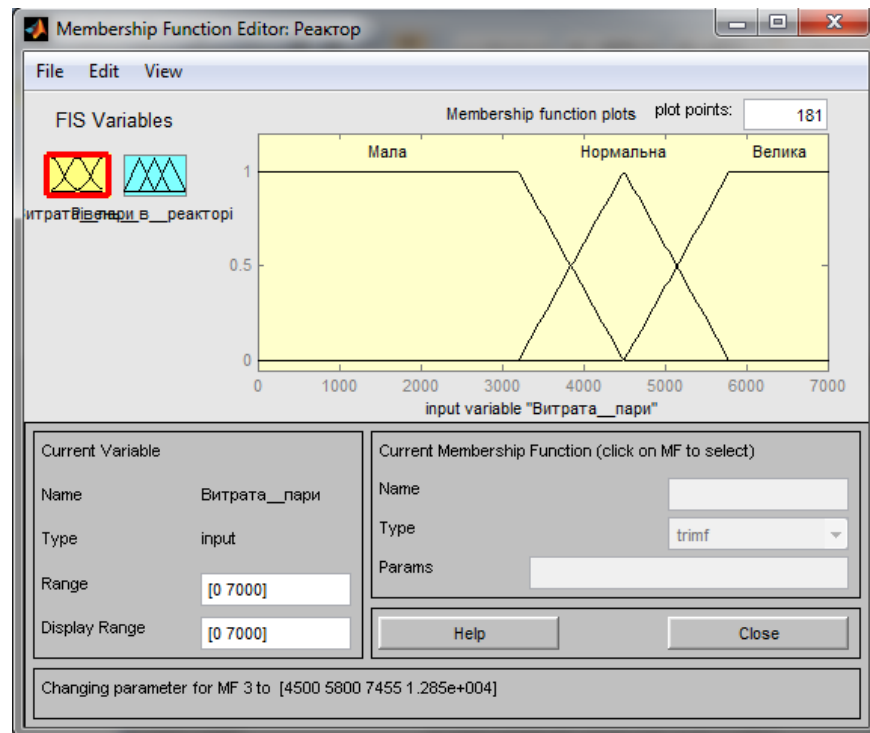


Рис. IV.12. Вікно редактора функцій належності для вхідної змінної

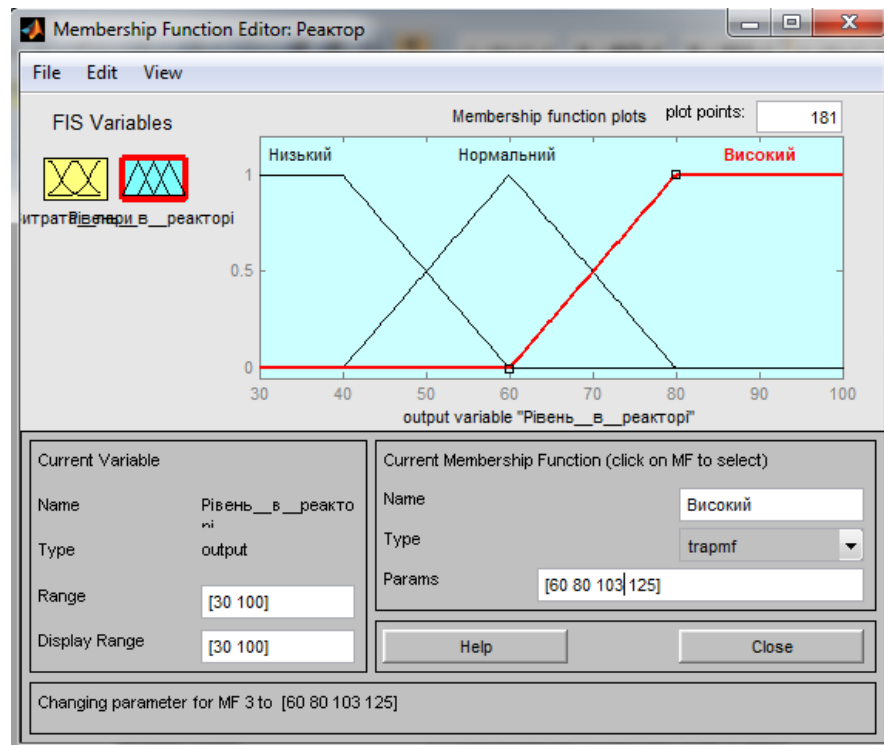


Рис. IV.13. Вікно редактора функцій належності для керувальної змінної

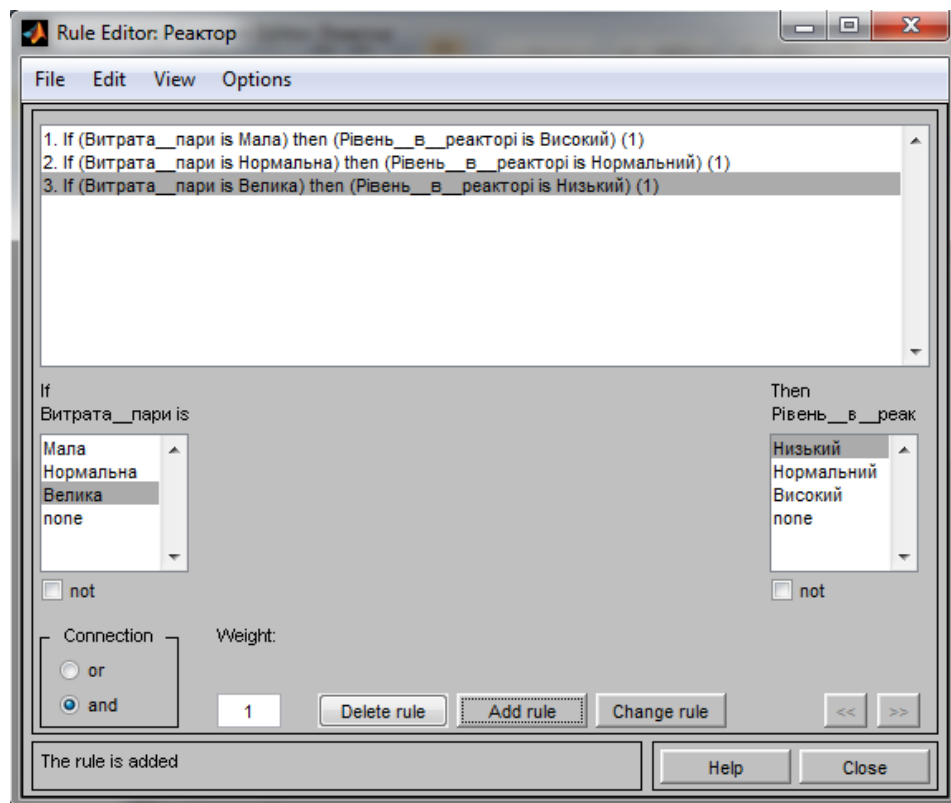


Рис. IV.14. Вікно редактора правил продукції після їх визначення

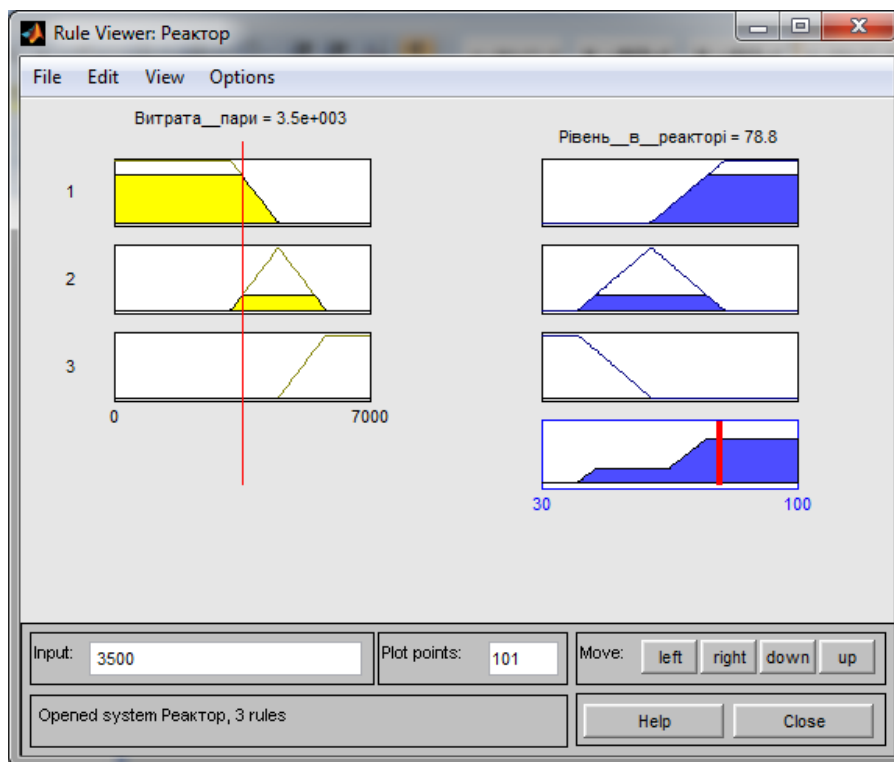


Рис. IV.15. Вікно перегляду результату використання правил продукції

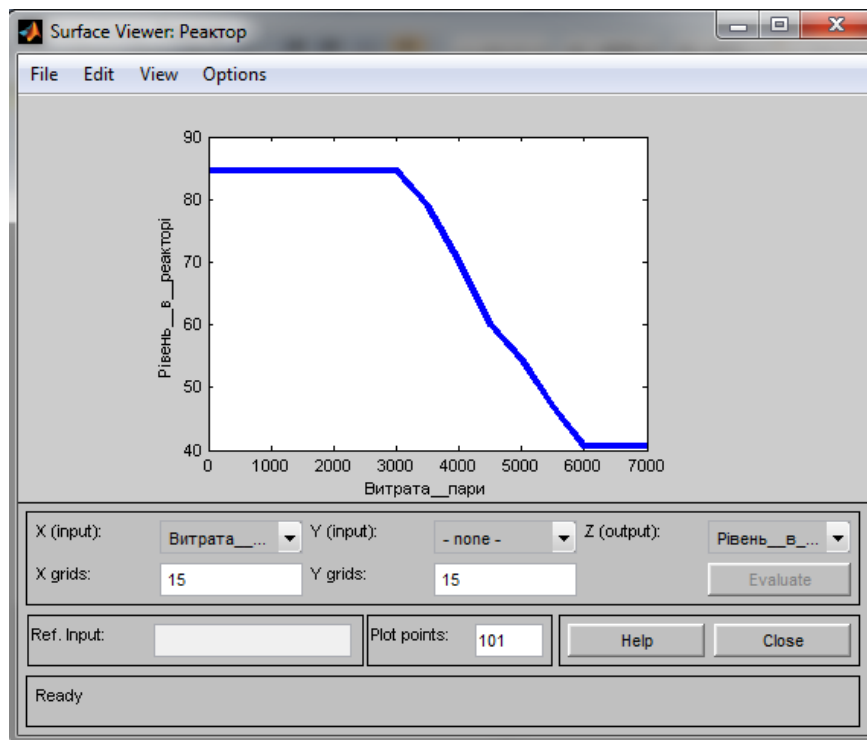


Рис. IV.16. Вікно перегляду поверхні нечіткого висновку

Порядок захисту та контрольні запитання

Захист розрахункової роботи відбувається після виконання усіх розділів завдання. Студент підтверджує виконання завдань, наводячи відповідні дослідження та розрахунки з пояснювальної записки. За вимогою викладача студент повинен показати своє вміння використовувати програму *MatLab*.

Для підготовки до захисту розрахункової роботи студент повинен вивчити наступні питання.

А. ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ

1. Поняття експертної системи.
2. Типи ЕС.
3. Головні складові ЕС? Окремі частини кожної з них.
4. Основні види моделей знань (навести приклад до кожного виду).
5. Принцип роботи прямого ланцюжка міркувань.
6. Принцип роботи зворотного ланцюжка міркувань.

В. НЕЧІТКІ МНОЖИНИ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

1. У чому полягає різниця між чіткою та нечіткою множинами з математичної точки зору?
2. Що таке нечітка змінна? Як її описують?
3. Що таке лінгвістична змінна? Як її описують?
4. Що таке правило нечіткого висновку?
5. Які дії відповідають етапу фазифікації при створенні нечітких систем керування?
6. Які дії відповідають етапу дефазифікації при створенні нечітких систем керування?
6. Як створити нечітку модель у *MatLab*?
7. Як увести правила нечіткого висновку у *MatLab*?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алиев Р. А., Абдикеев Н. М., Шахназаров М. М. Производственные системы с искусственным интеллектом. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
2. Архангельский В. И., Богаенко И. М., Грабовський Г. Г., Рюмшин М. О. Системи функції-керування. – К.: Техніка, 1997. – 208 с.
3. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
4. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию для студентов химико-технологических ВУЗов, а также инженерно-технических работников химической и смежных отраслей / Ю. И. Дытнерский, Г. С. Борисов, В. П. Брыков. – М. : Химия, 1991. – 496 с.
5. Дьяконов В. Mathcad 2000. – СПб.: Питер, 2001. – 592 с.
6. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2001. – 480 с.
7. Згуровский М. З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования. – К.: Вища шк., 1990. – 351 с.
8. Змитрович А. И. Интеллектуальные информационные системы. – Мн.: НТООО «ТетраСистемс», 1999. – 368 с.
9. Інтелектуальні системи управління: Експертні системи – основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л. Д. Ярошук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 136с.
10. Кирьянов Д. Самоучитель MathCAD 2001. – СПб.: BHV, 2001. – 544 с.

11. Корнеев В. В., Гареев А. Ф., Васютин С. В., Райх В. В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации. – М.: Нолидж, 2001. – 496с.
12. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб: БХВ – Петербург, 2003. – 736.
13. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
14. Плис А. И., Сливина П. А. Mathcad: математический практикум для экономистов и инженеров. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 656 с.
15. Прикладные нечеткие системы / под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368с.
16. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
17. Ярушкина Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. – М. Финансы и статистика, 2004. – 320 с.